

Empirische Untersuchung zum Wert von Versorgungssicherheit in Privathaushalten – eine Fallstudie im Energy Smart Home Lab

Leandra SCHARNHORST¹⁽¹⁾, Thorben SANDMEIER⁽¹⁾, Benedikt APPEL⁽¹⁾, Armin ARDONE⁽¹⁾, Wolf FICHTNER⁽¹⁾

⁽¹⁾Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP), Lehrstuhl für Energiewirtschaft, Karlsruher Institut für Technologie (KIT),
leandra.scharnhorst@kit.edu

Kurzfassung:

Durch die fortschreitende Dekarbonisierung des Energiesystems, sowie einem Mangel an Übertragungskapazitäten, steht die Gewährleistung der Versorgungssicherheit vor neuen Herausforderungen. Ein Lösungsansatz zum Umgang mit Extremsituationen besteht in der kontrollierten Abschaltung von Verbräuchen. In der Industrie bereits zum Teil umgesetzt, wurde für Privathaushalte die Bereitschaft zur Erbringung von Flexibilität durch kontrollierte Stromabschaltungen bislang nur durch hypothetische Szenarien in Befragungen untersucht.

Zur näheren Analyse wurde ein Praxis-Experiment im Reallabor Energy Smart Home Lab durchgeführt. Dabei wurden die VerbraucherInnen mit kontrollierten Stromabschaltungen unter Berücksichtigung der Akzeptanz- und Zahlungsbereitschaften konfrontiert. Neben einer Bewertung der Versorgungssicherheit, beleuchten wir die Reaktionen und Verhaltensanpassungen der VerbraucherInnen.

Keywords: Zahlungsbereitschaft, Akzeptanzbereitschaft, Versorgungssicherheit, Privathaushalte

1 Einleitung

Im Zuge der Energiewende und der aktuellen Energiekrise als Folge des Krieges in der Ukraine wird in Deutschland mehr denn je über die energetische Versorgungssicherheit diskutiert. Vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) werden drei Aspekte der Versorgungssicherheit unterschieden: Versorgungssicherheit in der Stromerzeugung, im Stromnetz und die Versorgung mit Brennstoffen und erneuerbaren Energien [1]. Laut VDE liegt nach der Störungs- und Verfügbarkeitsstatistik eine Versorgungsunterbrechung vor, wenn „die Versorgung eines oder mehrerer Letztverbraucher und gegebenenfalls Weiterverteilern länger als eine Sekunde unterbrochen wird“ [2]. Unterschieden wird dabei zwischen

¹ Jungautorin: Hertzstraße 16, 76187 Karlsruhe, +49 721 608 – 44578,
leandra.scharnhorst@kit.edu, <https://www.iip.kit.edu/index.php>

zwei verschiedenen Unterbrechungsarten: geplante und ungeplante Versorgungsunterbrechungen. Eine geplante Unterbrechung liegt vor, wenn die betroffenen Verteiler oder Letztverbraucher, die Energie für den eigenen Verbrauch kaufen durch eine vorherige Benachrichtigung oder Absprache vorbereitet wurden [3]. Alle Versorgungsunterbrechungen, die nicht dieser Definition zuzuordnen sind, gehören zu den ungeplanten Unterbrechungen.

Geplante Abschaltungen in der Stromversorgung können in Zukunft helfen, um Engpässen in der Stromerzeugung oder -übertragung zu begegnen. Im Sinne der abschaltbaren Lastenverordnung [4] gab es bis Juli 2022 bereits einen regulatorischen Rahmen zum Umgang mit Netzengpass-Situationen, bei denen Verbraucher vom Netz genommen werden müssen. Die gezielte Abschaltung von Verbrauchern mit vorheriger Information durch den Netzbetreiber wurde aber bisher nur für den Industriesektor berücksichtigt. Dabei bergen Haushalte, mit einem Stromverbrauch von 132 TWh (DE, 2021) im Vergleich zur Industrie mit 226 TWh (DE, 2021) [5] ebenfalls ein großes Potential als abschaltbare Lasten. Hier stellt sich jedoch die Frage, ob und wie BewohnerInnen von Privathaushalten zur Teilnahme an solch einem Programm motiviert werden können und wie dieses ausgestaltet werden sollte.

In Deutschland kamen Unterbrechungen der Stromversorgung in der Vergangenheit nur selten vor. Die bisherige Literatur stützt sich zur Ermittlung von Zahlungs- und Akzeptanzbereitschaften in Bezug auf geplante Unterbrechungen der Stromversorgung in Privathaushalten bislang hauptsächlich auf hypothetische Umfragen. StudienteilnehmerInnen hatten hierbei in den meisten Fällen noch keine vergleichbaren Unterbrechungen der Stromversorgung erlebt, was unweigerlich zu Verzerrungen in den Ergebnissen führt. Keine der uns bekannten Studien fand unter realen Bedingungen statt.

Um diese Lücke zu füllen, wurde in dieser Studie ein Praxis-Experiment im Reallabor Energy Smart Home Lab (ESHL) am Campus Süd des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) durchgeführt. Das Ziel bestand darin, kontrollierte Stromabschaltungen unter möglichst realistischen Bedingungen durchzuführen und verschiedene Tarif-Konzepte hinsichtlich Zahlungs- und Akzeptanzbereitschaften zu testen.

1.1 Forschungsfragen

Aus der oben beschriebenen Forschungslücke ergeben sich mehrere Forschungsfragen. Hierbei betrachten wir zuerst die folgende Forschungsfrage:

- Wie bewerten VerbraucherInnen den Wert von Versorgungssicherheit hinsichtlich ihrer Akzeptanz- und Zahlungsbereitschaften unter nahezu-realen Bedingungen und welche Erkenntnisse lassen sich im Vergleich zu den bisherigen, hypothetischen Untersuchungen ableiten?

Die Frage nach möglichen Anpassungen und Reaktionen der Betroffenen auf Unterbrechungen der Stromversorgung ist ebenfalls nur schwer durch hypothetische Untersuchungen zu beantworten. Daher formulieren wir die zweite Forschungsfrage, die wir mithilfe des Praxis-Experiments beantworten wollen:

- Mit welchen Anpassungsmaßnahmen und Verhaltensänderungen reagieren die VerbraucherInnen auf Unterbrechungen der Stromversorgung?

Für die Spezifikation einer geplanten Unterbrechung in der Stromversorgung haben wir vier wesentliche Parameter identifiziert: Häufigkeit, Dauer, Vorwarnzeit und Kompensation bzw. Zahlungshöhe. Daraus lässt sich die dritte Forschungsfrage ableiten:

- Wie priorisieren VerbraucherInnen die Parameter Häufigkeit, Dauer, Vorwarnzeit und Kompensation bzw. Zahlungshöhe in Bezug auf geplante Unterbrechungen der Stromversorgung?

1.2 Struktur dieser Studie

Die vorliegende Arbeit ist wie folgt strukturiert. In Kapitel 2 stellen wir die aktuellen Herangehensweisen zur Bestimmung von Zahlungs- und Akzeptanzbereitschaften hinsichtlich Versorgungssicherheit vor. In Kapitel 3 werden die Materialien und Methoden vorgestellt, was die Beschreibung des Reallabors und das Konzept des Experiments umfasst. Daraufhin werden die Ergebnisse und Diskussion in Kapitel 4 erläutert in Kapitel 5 zusammengefasst und ein Ausblick auf weiteren Forschungsbedarf gegeben.

2 Literaturübersicht

2.1 Stand der Forschung zur ökonomischen Bewertung von Versorgungssicherheit

Im Falle einer Versorgungsunterbrechung sollte die Bewertung des Lieferverlusts für Konsumenten und den ökonomischen Mehrwert aus System Sicht möglich sein, um entsprechende Maßnahmen zur Kompensation von Konsumenten realisieren zu können. Ein Ansatz ist die Bestimmung des Value of Lost Load (VoLL). Der VoLL beschreibt die Kosten pro Einheit nicht gelieferter Elektrizität [6, 7]. Grundsätzlich lassen sich gemäß Ratha et al. die Faktoren, welche einen wesentlichen Einfluss auf die Kosten einer Versorgungsunterbrechung haben können, in drei Kategorien einteilen [7]: Unterschieden wird dabei zwischen technischen Faktoren², lastseitigen³ oder sozialen Faktoren und weiteren Faktoren⁴. Zur Ermittlung der Versorgungsunterbrechungskosten werden in der wissenschaftlichen Literatur verschiedenste Methoden herangezogen [8]. Hierbei lassen sich die Methoden in die zwei Kategorien direkte und indirekte Kosteneinschätzung unterteilen [8]. Erstere beziehen die Informationen zur Kosteneinschätzung direkt von den Konsumenten, bspw. basierend auf Umfragen, während indirekte Methoden zur Kosteneinschätzung sich auf andere Informationen (z. B. Bruttoinlandsprodukt, Haushaltseinkommen, Stromkosten und –Verbräuche, etc.) stützen [8]. Die direkte Kosteneinschätzung unterscheidet ex ante und ex post Analysen. Ex ante durchgeführte Umfragen betreffen bspw. Umfragen zur direkten Kosteneinschätzung, bei denen die VerbraucherInnen anhand vorgegebener Szenarien die persönlichen Auswirkungen und die damit verbundenen Kosten auflisten und bewerten [9]. Zwei weitere ökonomische Methoden, die ex ante durchgeführt werden sind die kontingente Bewertungsmethode, sowie die Conjoint-

² z. B. Dauer der Versorgungsunterbrechung, Auftrittshäufigkeit, Tageszeit, Wochentag, Jahreszeit, Vorwarnzeit.

³ z. B. Kundentyp, Anzahl betroffener Kunden, Grad der Energieabhängigkeit und kritische Infrastrukturen, Grad der Möglichkeiten zur Energiesubstitution.

⁴ z. B. kulturelle Unterschiede, wirtschaftliche Ausrichtung, Ausgestaltung des Marktes, Subjektive Wahrnehmung und erwarteter Grad der Versorgungssicherheit.

Analyse. Über beide Methoden können die Zahlungs- und Akzeptanzbereitschaften von ProbandInnen erhoben werden.

Die Zahlungsbereitschaft (Willingness to Pay ,WTP) beschreibt den maximalen Geldbetrag, den ein Verbraucher oder Käufer bereit ist zu zahlen, um ein Gut oder eine Dienstleistung zu kaufen oder eine negative Externalität zu verhindern [10]. Die Akzeptanzbereitschaft (Willingness to Accept ,WTA) ist wiederum der minimale Geldbetrag, den eine Person bereit ist, für den Verkauf eines Gutes oder einer Dienstleistung oder zur Verhinderung einer negativen Externalität als Entschädigung zu erhalten [11].

Bei der kontingenten Bewertungsmethode werden die ProbandInnen aufgefordert ihre Zahlungs- und Akzeptanzbereitschaften in einem hypothetischen Markt direkt anzugeben [12–14]. Bei der Conjoint-Analyse werden die Zahlungs- und Akzeptanzbereitschaften der ProbandInnen indirekt erhoben [12]. Dies geschieht über die Bewertung von Szenarien, die sich in ihren Merkmalsausprägungen hinsichtlich Grad der Versorgungssicherheit und finanzieller Gebühren bzw. Kompensationen unterscheiden [15]. Bei Choice-Based Conjoint Analysen (CBC) wählen ProbandInnen das Szenario aus, das für sie den größten Nutzen hat. Ex post Analysen, wie bspw. Blackout Studien, die sich auf eine reale Versorgungsunterbrechungen beziehen [54]. Blackout Studien dienen häufig als Referenz zur Überprüfung aufgestellter Hypothesen anderer Erhebungsmethoden. Neben den ermittelten Schadenskosten können auch die Reaktionen von Netzbetreibern, Notdiensten und dem ökologischen und ökonomischen Umfeld betrachtet werden [8, 16].

Die ökonomische Bewertung von Versorgungssicherheit wurde mittels verschiedener Methoden, unter Bestimmung des VOLL, u. A. auf der Basis der Zahlungs- und Akzeptanzbereitschaften bereits umfassend in der wissenschaftlichen Literatur diskutiert. In Deutschland reicht der VOLL, mit Fokus auf die Zahlungs- und Akzeptanzbereitschaften von 22,30 €/kWh (für einen vierstündigen Stromausfall) [17], bis 23,70 € (WTP-Median) bzw. 1,40 €/kWh (WTA-Median) für einen vierstündigen Stromausfall (hier: Makroökonomischer Ansatz) [18]. Bei einem weiteren makroökonomischen Ansatz beläuft sich der VOLL auf 15,05 €/kWh (im Basisszenario) [19], 9,07 €/kWh [20], 15,70 €/kWh [21] oder 6,96 – 15,11 €/kWh [22]. Erkennbar ist hier ein deutlicher Unterschied zwischen den ermittelten VOLL, die sich größtenteils in einem Bereich von 5,00 – 25,00 €/kWh bewegen. In Studien mit anderem Länderfokus unterscheidet sich der VOLL mitunter noch stärker. VOLL von 16,38 €/kWh in den Niederlanden [23], oder 23,57 \$/kWh (nicht gewichtet nach Last⁵) und 49,72 \$/kWh (gewichtet nach Last) für einen achtstündigen Stromausfall zum schlechtestmöglichen Zeitpunkt in Neuseeland [24] oder 14 – 51 €/kWh unter Berücksichtigung saisonaler Schwankungen in Irland verdeutlichen diese Unterschiede. Gründe für diese Unterschiede liegen in der Anwendung unterschiedlicher Methoden und Schwerpunkte, z. B. der angenommenen Dauer der Unterbrechung, Jahreszeiten und Tageszeiten, Präferenzen der Bevölkerung in der Gestaltung von Freizeit, Untersuchungsjahren und –Ländern.

⁵ Nicht nach Last gewichtete Werte geben jeder,m UmfrageteilnehmerIn die gleiche Gewichtung, unabhängig von deren Stromverbrauch [24].

2.2 Disparität zwischen Zahlungs- und Akzeptanzbereitschaft

In den ersten Untersuchungen zu Zahlungs- und Akzeptanzbereitschaft wurde davon ausgegangen, dass die Höhe dieser beiden Konstrukte gleich sein würde, wenn es sich um dasselbe Gut handelt [25, 26]. Mehrere Studien, die nicht allein auf das Thema der Versorgungssicherheit beschränkt sind, zeigen hingegen in der Praxis, dass die Entschädigungsforderung (WTA) höher ausfällt als die Zahlungsbereitschaft (WTP) [15, 27–33]. Im Hinblick auf Stromversorgungsunterbrechungen bedeutet dies, dass die Befragten einen höheren Betrag zur Kompensation der nicht gelieferten Energie verlangen als sie bereit sind, zur Vermeidung der Unterbrechung zu zahlen [15]. Es existieren verschiedene Theorien zur Begründung der Disparität. Der Endowment-Effekt von Kahneman et al. beschreibt, dass Individuen Gütern, die sich in ihrem Besitz befinden einen höheren Wert beimessen, als Gütern, die sie noch kaufen müssen [34]. In diesem Zusammenhang steht auch die „Verlustaversion“, dass Individuen Verluste deutlich stärker gewichten als Gewinne [31].

3 Materialien und Methoden

3.1 Das Reallabor: Energy Smart Home Lab

Das Energy Smart Home Lab (ESHL) vereint als Reallabor die Eigenschaften eines Smart Homes mit einem umfassenden Sensor- und Messsystems und weiterer technischer Ausstattung, wie etwa einer Luft-Wasser-Wärmepumpe, einem Mikro-Blockheizkraftwerk, einer Photovoltaikanlage, sowie einen Warmwasser-, Kaltwasser- und Batteriespeicher. Diese technischen Anlagen sind in einem Technikraum neben dem Wohnbereich untergebracht, bzw. die Photovoltaikanlage auf dem Dach des Gebäudes. Der Wohnbereich umfasst eine Wohnfläche von 60 m² (Wohnküche, zwei Schlaf-Arbeitszimmer, Bad) auf der maximal zwei ProbandInnen gleichzeitig während einer Wohnphase wohnen. Weitere Informationen über das Setup des ESHL werden in [35] vorgestellt.

3.2 Demographische Informationen zu den ProbandInnen

Im Rahmen dieses Experiments wohnten zwei Personen für einen Zeitraum von sechs Wochen im ESHL. Beide Personen haben die deutsche Staatsbürgerschaft, eine Person ist weiblich und eine männlich. Beide Personen sind zwischen 30 und 39 Jahren alt und in Vollzeit erwerbstätig im Raum Karlsruhe. Person 1 hat zwei bis drei Tage pro Woche im Homeoffice (im ESHL) gearbeitet, Person 2 drei bis fünf Tage pro Woche.

3.3 Methodische Vorgehensweise

3.3.1 Konzept der Wohnphase

Bei einer Wohnphase handelt es sich um einen definierten Zeitraum in dem bis zu zwei ProbandInnen im ESHL wohnen. In diesem Fall dauerte die Wohnphase sechs Wochen.

Die Kommunikation mit den ProbandInnen erfolgte über ein Web-Interface auf einem festinstallierten Tablet. Mit dem Ziel, verschiedene Tarifarten hinsichtlich der Akzeptanzbereitschaft (WTA) und Zahlungsbereitschaft (WTP) im Falle einer Stromversorgungsunterbrechung

zu testen, wurden die ProbandInnen über die jeweiligen Tarife oder Tarif-Auswahl über das Web-Interface informiert.

Insgesamt wurden in zwei Wochen WTA-Tarife getestet, zwei Wochen WTP-Tarife und in der letzten Woche eine Kombination aus WTA und WTP, bei der zu Wochenbeginn ein WTA-Tarif ausgewählt wurde und während der Woche kurzfristig die Stromversorgung gegen eine Gebühr (WTP) ausgesetzt werden konnte.

Bei WTA-Tarifen erhielt die ProbandInnen zu Beginn jeder Woche eine Auswahl von mindestens drei mit Stromabschaltungen verknüpften Tarifen sowie einer Status-Quo-Option, aus denen sie einen für die kommende Woche wählen mussten. Bei Wahl der Status-Quo-Option wurden keine Abschaltung durchgeführt, jedoch auch keine Kompensation gezahlt. Nach Auswahl des Tarifs fanden die Unterbrechungen zu einem willkürlichen Zeitpunkt unter der Woche statt. Bei WTP-Tarifen erhielten die ProbandInnen im Rahmen einer festgelegten Vorwarnzeit die Benachrichtigung, dass nach Ablauf der Vorwarnzeit (≤ 24 h) die Stromversorgung für einen bestimmte Zeit abgeschaltet werden würde. Die ProbandInnen hatten hier die Möglichkeit, im Rahmen der Vorwarnzeit gegen eine finanzielle Gebühr die Stromversorgung während der geplanten Unterbrechungszeit aufrechtzuerhalten.

Die Tarife umfassten vier Parameter:

- Anzahl Abschaltungen
- Abschaltdauer
- Vorwarnzeit
- Kompensation bei Akzeptanz der Abschaltung (WTA) bzw. Gebühr zur Überbrückung einer Abschaltung (WTP)

Eine beispielhafte Tarifauswahl ist in Abbildung 1 dargestellt.

Tarif I	Tarif II	Tarif III	Tarif IV
Häufigkeit pro Woche: 2 Mal	Häufigkeit pro Woche: 2 Mal	Häufigkeit pro Woche: 2 Mal	Häufigkeit pro Woche: keine Abschaltungen!
Dauer der Abschaltung: 4 Stunden	Dauer der Abschaltung: 2 Stunden	Dauer der Abschaltung: 1 Stunde	Dauer der Abschaltung: -
Vorwarnzeit: 24 Stunden	Vorwarnzeit: 24 Stunden	Vorwarnzeit: 24 Stunden	Vorwarnzeit: -
Sie erhalten bei der Wahl dieses Tarifs eine Entschädigung von: 30 €	Sie erhalten bei der Wahl dieses Tarifs eine Entschädigung von: 15 €	Sie erhalten bei der Wahl dieses Tarifs eine Entschädigung von: 7,50 €	Sie erhalten bei der Wahl dieses Tarifs eine Entschädigung von: 0 €

Abbildung 1: Beispielhafte Tarifauswahl mit WTA-Tarifen.

3.3.2 Berechnung der Kompensationen und Gebühren

Zur Ermittlung der Kompensation bzw. Gebühr wurden Praktiknjos Ergebnisse zur Berechnung des VoLL als Ausgangsbasis genutzt [18]. Von Vorteil ist hier, dass die Studie ebenfalls in Deutschland durchgeführt wurde und dass die Unterbrechungskosten in Abhängigkeit der Unterbrechungsdauer dargestellt werden. Basierend auf den Ergebnissen der Studie wurde ein VoLL-Wert von 20 €/kWh angenommen. Anschließend wurde dieser Wert in Abhängigkeit der Unterbrechungsdauer angepasst. Hierzu wurden anhand der elektrischen Lastprofile von

drei vorherigen Wohnphasen im ESHL der durchschnittliche elektrische Verbrauch für jede Stunde des Tages berechnet. Um den Betrag der Kompensation zu berechnen, wird nun der durchschnittliche Verbrauch in den von der Unterbrechung betroffenen Stunden als Referenz genutzt und mit der Abschaltdauer, der Vorwarnzeit, der Anzahl der Abschaltungen und dem Value of Lost Load verrechnet:

$$K = n \Delta t v P_{t_1-t_2} VoLL$$

mit

K	Kompensation bzw. Gebühr in €
n	Anzahl der Abschaltungen (pro Woche)
Δt	Dauer der Abschaltung (in Stunden)
v	Vorwarnzeit (normiert, sodass 1 = 24h)
$P_{t_1-t_2}$	Durchschnittsverbrauch in den von der Abschaltung betroffenen Stunden
$VoLL$	Value of Lost Load (zu Beginn 20 €/kWh nach [18])

Die Werte für die Höhe der Kompensation bzw. Gebühr wurden für jede der Tarifoptionen berechnet und zusammen mit weiteren Informationen zu den Tarifoptionen an die ProbandInnen kommuniziert.

Die Tarifoptionen innerhalb einer Woche unterschieden sich in der Anzahl der Abschaltungen, der Dauer, sowie der Vorwarnzeit. Der angenommene VoLL war für alle Optionen gleich. Somit kann zum einen die generelle Akzeptanz- bzw. Zahlungsbereitschaft (wurde einer der Tarife oder die Status-Quo-Option gewählt?) und zum anderen die Priorisierung der Attribute (welcher Tarif wurde gewählt?) analysiert werden. Zwischen den verschiedenen Wochen wurde der angenommene VoLL variiert, um so die Grenzen der Akzeptanz- bzw. Zahlungsbereitschaft zu ermitteln.

3.4 Umfragen und Tiefeninterviews

Während der Wohnphase dienten Umfragen und Tiefeninterviews der Einholung von Informationen zu den Motiven, Erlebnissen und Eindrücken der ProbandInnen. Im Folgenden wird das Setup der Umfragen und Tiefeninterviews vorgestellt.

3.4.1 Umfragen

Begleitet wurden die ProbandInnen durch wöchentliche Umfragen zur Abfrage der Erlebnisse und Anpassungsmaßnahmen. Insgesamt wurden sieben Umfragen durchgeführt. Die erste Umfrage wurde vor dem Beginn der Tarifauswahl und Stromabschaltungen durchgeführt und setzte sich aus 3 Abschnitten zusammen. Im ersten Teil wurden die demografischen Daten der ProbandInnen abgefragt. Daraufhin folgten im zweiten Teil Fragen zur Angabe der Umwelteinstellung der ProbandInnen anhand einer Likert-Skala, sowie Fragen zum bisherigen Stromverbrauch inkl. genutzter Haushaltsgeräte im Privatgebrauch außerhalb dieser Wohnphase. Im letzten Abschnitt wurden die ProbandInnen zu Ihrer Einstellung gegenüber Stromversorgungsunterbrechungen, damit verbundene potentielle Unannehmlichkeiten, persönliche Erfahrungen und Anpassungsmaßnahmen mit Stromausfällen und eine direkte Abfrage zur

Kosteneinschätzung von Zahlungs- und Akzeptanzbereitschaft bei ein-, zwei-, und vierstündigen Stromabschaltungen befragt. Die darauffolgenden regelmäßigen Umfragen während der Wohnphase wurden jeweils zum Ende einer Tarifphase⁶ durchgeführt, um detailliertes Feedback zu den Tarifen, die persönliche Bewertung der empfundenen Unannehmlichkeiten, sowie Anpassungsmaßnahmen, Sorgen und Ängste abzufragen. Darüber hinaus wurden auch hier jeweils wieder die Zahlungs- und Akzeptanzbereitschaften direkt abgefragt. Im Anschluss an die Wohnphase wurden die ProbandInnen nochmals um eine Einschätzung ihrer Umwelteinstellung gebeten, sowie um ihre Selbsteinschätzung zu den persönlichen Leitprinzipien mit der sogenannten Value Scale, die zwischen altruistischen, egoistischen, biosphärischen und hedonistischen Prinzipienkategorien unterscheidet. Eine nähere Beschreibung der Value Scale bieten van der Werff und Steg 2016 in [36]. Zuletzt wurden in der Abschlussumfrage die Einschätzung der ProbandInnen zu ihrer Akzeptanzbereitschaft zu Dauer und Häufigkeit von Versorgungsunterbrechungen pro Monat, der minimal und maximal akzeptierbaren Vorwarnzeit und der Tageszeitabhängigkeit der Versorgungsunterbrechung bzgl. der empfundenen Störung im Alltag anhand einer Likert-Skala abgefragt.

3.4.2 Tiefeninterviews

Wie in vorherigen Studien [35] wurden auch hier Tiefeninterviews genutzt, um detailliertes Feedback der ProbandInnen über den Verlauf des Experiments einzuholen. Semi-strukturierte Interviews ermöglichen in diesem Rahmen das umfangreiche Eingehen auf Erlebnisse, Beweggründe und Verhaltensmuster [37]. Insgesamt wurden zwei Tiefeninterviews durchgeführt, eines nach der ersten Woche der Wohnphase und eines nach Ende der Wohnphase.

Das erste Interview nahm etwas mehr als eine Stunde in Anspruch und war in zwei Abschnitte untergliedert. Im ersten Abschnitt wurde das allgemeine Einleben und Zurechtfinden im ESHL thematisiert, bevor auf die ersten Erlebnisse bzgl. der WTA-Tarife eingegangen wurde. Abgefragt wurde die Einordnung der Tarifparameter (Häufigkeit, Dauer, Vorwarnzeit, Kompensation) und ebenfalls die Uhrzeit, zu denen die Abschaltungen vorgenommen worden waren. Des Weiteren wurden Anpassungsmaßnahmen, Unannehmlichkeiten aufgrund der Unterbrechung, sowie weiterführende Fragen basierend auf der Umfrage die zu Anfang der Wohnphase von beiden ProbandInnen beantwortet wurde. Im zweiten Abschnitt wurde eine Abfrage, aufgebaut wie ein Choice-Experiment, durchgeführt [38]. Hierbei wurden den ProbandInnen insgesamt sieben Choice-Abfragen mit je drei Tarifoptionen gezeigt. Die ProbandInnen wählten je Choice-Abfrage gemeinsam einen Tarif aus und beantworteten eine für die Choice-Abfrage individuelle, attribut-bezogene Frage.

Tabelle 1 - Übersicht der Attribute und Level des im Interview mit den ProbandInnen durchgeführten Choice-Experiments

Attribute	Häufigkeit pro Woche	Dauer in h	Vorwarnzeit in h	Kompensation / Gebühr in €
Anzahl Level je Attribut	4	3	3	7
Level	1, 2, 4, 6	1, 2, 4	4, 12, 24	0, 10,15, 30, 45, 60, 90

⁶ Eine Tarifphase startete sonntags mit der Tarifauswahl und war dann von Montag bis Samstag der darauffolgenden Woche gültig.

Die Attribute waren wie im anwendungsbezogenen Experiment die vier Tarif-Parameter Häufigkeit, Dauer, Vorwarnzeit und Kompensation bzw. Zahlung. Je Attribut wurden verschiedene Level festgelegt, die in Tabelle 1 vorgestellt werden.

Das Choice-Experiment dient dazu, weitere Entscheidungen der ProbandInnen zu unterschiedlichen Tarifoptionen einzuholen, da im Zeitintervall der Wohnphase nur eine begrenzte Anzahl an Abschaltungen gekoppelt an die jeweils gewählte Tarifoption durchgeführt werden konnte. So lassen sich die Ergebnisse in den Hauptteil der in der Wohnphase real durchgeführten Stromabschaltungen und einen weiteren Teil der theoretischen Abfrage von Tarif-Entscheidungen unterteilen.

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Gewählte Tarifoptionen aus dem Choice Experiment in Interview 1

Zur zusätzlichen Analyse von Tarifoptionen, die aus zeitlichen Gründen im Rahmen der Wohnphase nicht im ESHL getestet werden konnten, wurde im Rahmen des ersten Interviews nach der ersten Woche der Wohnphase ein Choice Experiment mit den ProbandInnen durchgeführt. Hierzu wurden den ProbandInnen sieben Choice Abfragen mit je drei Tarifoptionen zur Auswahl vorgestellt. Eine Übersicht der Tarife und Entscheidungen der ProbandInnen ist in Tabelle 2 dargestellt. Exemplarisch werden die Hintergründe und Motive zur Tarifauswahl 1 im Folgenden näher beleuchtet.

Tarifauswahl 1 – Variierung der Häufigkeit

Bei Tarifauswahl eins variierten die Tarife in ihrer Häufigkeit. Die ProbandInnen wählten hierbei Tarif 1, den Tarif mit den häufigsten Abschaltungen, vier pro Woche. Hintergrund war die eigene Einschätzung, dass mit einer Vorwarnzeit von 24 Stunden, ohne Probleme öfters Abschaltungen durchgeführt werden könnten, da man sich durch die lange Vorwarnzeit gut auf diese vorbereiten könne.

Zusatzfrage: Was wäre die maximale Häufigkeit, die Sie akzeptieren würden?

Hierzu nannte ProbandIn 1, dass jeden Tag eine Phase existieren würde, in denen man mit Aktivitäten beschäftigt sei, die unabhängig von der Stromversorgung durchführbar wären. Daher wären vier bis sechs Abschaltungen pro Woche machbar. Darüber hinaus fügte ProbandIn 1 hinzu, dass mehrere Abschaltungen am Tag auch möglich wären:

ProbandIn 1: „Das kann ich anhand dessen was hier steht, also wenn hier steht viermal und dann gibt es eine Ankündigung für, was weiß ich, für den Folgetag einmal für 12:00 Uhr mittags und einmal um 18:00 Uhr abends die nächste gleich. Dann, mein Gott, dann kriegt man das sicher hin, so als Beispiel mal. Ich wüsste nicht, warum das nicht möglich sein sollte, da hätte ich wahrscheinlich...ich weiß es ja letztlich vorher wahrscheinlich nicht, insofern, auch damit könnte man sicherlich umgehen.“ (Interview 1, #00:39:33-6#)

ProbandIn 2 stimmte dieser Überlegung zu: „Genau, wenn dazwischen immer eine Zeit wäre, wo Strom wieder an ist, dann könnte man in der Zeit auch kochen oder zumindest was Vorgekochtes wieder aufwärmen. Je nachdem wie viel Zeit man dazwischen hat. In dem Fall wieder alles eine Frage der Vorwarnzeit.“ (Interview 1, #00:39:45-8#)

Für die Arbeit im Home-Office wäre das mit einer Vorwarnzeit von 24 Stunden auch noch gut planbar:

ProbandIn 1: „Ja...damit steht und fällt es tatsächlich, gerade für die Arbeit im Home-Office ist es halt einfach so. Wenn du rechtzeitig Bescheid weißt lässt es sich einfach einrichten, dann plant man das ein bisschen hin und dann ist die Sache gut.“ (Interview 1, #00:40:09-3#)

Tabelle 2 - Übersicht der Choice Abfragen des Choice Experiments, das mit den ProbandInnen im Rahmen des ersten Interviews durchgeführt wurde. Der gewählte Tarif ist jeweils mit einem Stern (*) markiert.

	Häufigkeit pro Woche	Dauer in h	Vorwarnzeit in h	Kompensation bzw. Zahlung in €
Tarifauswahl 1 – Variierung der Häufigkeit				
Tarif 1*	4	2	24	-
Tarif 2	2	2	24	-
Tarif 3	1	2	24	-
Zusatzfrage: Was wäre die maximale Häufigkeit, die Sie akzeptieren würden?				
Tarifauswahl 2 – Variierung der Vorwarnzeit				
Tarif 1	2	2	24	-
Tarif 2	2	2	12	-
Tarif 3*	2	2	4	-
Zusatzfrage: Was wäre die minimale Vorwarnzeit, die Sie akzeptieren würden?				
Tarifauswahl 3 – Variierung der Häufigkeit und Dauer				
Tarif 1	4	1	24	-
Tarif 2	2	2	24	-
Tarif 3*	1	4	24	-
Tarifauswahl 4 – Variierung der Häufigkeit und Vorwarnzeit				
Tarif 1*	4	2	24	-
Tarif 2	2	2	12	-
Tarif 3	1	2	4	-
Tarifauswahl 5 – Variierung der Dauer und Vorwarnzeit				
Tarif 1	2	4	24	-
Tarif 2*	2	2	12	-
Tarif 3	2	1	4	-
Tarifauswahl 6 – Variierung der Häufigkeit und Kompensation				
Tarif 1*	6	2	24	90
Tarif 2	3	2	24	45
Tarif 3	1	2	24	15
Tarifauswahl 7 – Variierung der Vorwarnzeit und Kompensation				
Tarif 1	2	2	4	60
Tarif 2*	2	2	12	30
Tarif 3	2	2	24	10

4.2 Im Energy Smart Home Lab durchgeführte Tarifoptionen und Abschaltungen

Insgesamt wurden elf Abschaltungen während der sechswöchigen Wohnphase im ESHL durchgeführt. Begleitet wurden diese Abschaltungen durch entsprechende Tarifoptionen, die den ProbandInnen zur Auswahl gestellt wurden und in Tabelle 3 dargestellt sind. Alle Abschaltungen wurden an einem Werktag durchgeführt.

Tabelle 3 – Übersicht der wöchentlichen Tarifoptionen nach den Parametern Häufigkeit, Dauer, Vorwarnzeit und Kompensation bzw. Zahlung, inkl. Zeitintervallen der Abschaltungen und der Tarifauswahl durch die ProbandInnen. Der gewählte Tarif ist jeweils mit einem Stern (*) markiert.

	Häufigkeit pro Woche	Dauer in h	Vorwarnzeit in h	Kompensation bzw. Zahlung in €
Woche 1 - WTA				
Tarifkommunikation & Auswahl: sonntags				
Tarif 1	2	4	24	60
Tarif 2*	2	2	24	30
Tarif 3	2	1	24	15
Zeitintervall I	17:15 – 19:15			
Zeitintervall II	08:00 – 10:00			
Woche 2 - WTA				
Tarifkommunikation & Auswahl: sonntags				
Tarif 1*	2	4	24	30
Tarif 2	2	2	24	15
Tarif 3	2	1	24	7,5
Tarif 4	-	-	-	-
Zeitintervall I	17:00 – 21:00			
Zeitintervall II	08:00 – 12:00			
Woche 3 – keine Tarife				
Woche 4 - WTP				
Tarifkommunikation: sonntags Auswahl (ob WTP): Innerhalb der Vorwarnzeit				
Tarif	3	2	24	7,5 / 4 / 2
Zeitintervall I	18:00 – 20:00			
Zeitintervall II	14:30 – 16:30			
Zeitintervall III	07:00 – 09:00			
Woche 5 - WTP				
Tarifkommunikation: sonntags Auswahl (ob WTP): Innerhalb der Vorwarnzeit				
Tarif	2	4	24 / 6	4
Zeitintervall I	17:00 – 21:00			
Zeitintervall II	15:00 – 19:00			
Woche 6 – WTA & WTP				
Tarifkommunikation: sonntags Auswahl (WTA): sonntags Auswahl (ob WTP): Innerhalb der Vorwarnzeit				
Tarif 1*	2	2	2	24
Tarif 2	2	2	6	8
Tarif 3	2	2	12	4
Tarif 4	2	2	24	2
Tarif 5	-	-	-	-
WTP-Tarif				13
Zeitintervall I	16:15 – 18:15			
Zeitintervall II	13:30 – 15:30			

Es fällt auf, dass die ProbandInnen bei den WTA Tarifen durchgehend Optionen mit einer hohen Kompensation wählten. Dieses Verhalten setzt sich auch bei den WTP Tarifen fort, hier zeigten die ProbandInnen keine Zahlungsbereitschaft bei den Override-Optionen, sodass sich der Kontostand am Ende der Wohnphase auf 84 € belief.

4.3 Akzeptanz- und Zahlungsbereitschaften

In Tabelle 4 werden die Ergebnisse der Umfragen zusammengefasst, welche wöchentlich die WTA für eine Unterbrechung der Stromversorgung in Abhängigkeit der Dauer der

Unterbrechung abgefragt haben. Zusätzlich wurde die WTA für die Abschaltung von 1 kWh hinzugezogen, da sich somit eine Verbindung zur Value of Lost Load (in €/kWh) herstellen lässt. Diese Bewertung fiel den ProbandInnen jedoch deutlich schwerer als die Bewertung anhand der Abschaltedauer. Falls bestimmte Abschaltedauern in einer Umfrage nicht abgefragt wurden, wird diese mit „/“ gekennzeichnet. Nicht beantwortete Umfragen werden durch ein „-“ visualisiert. Es fällt auf, dass sich die angegebene Kompensationsforderung bei beiden ProbandInnen im Laufe der Zeit deutlich erhöht hat. Lässt man die Bewertung der Abschaltungslänge von einer Kilowattstunde außen vor, haben sich alle Ergebnisse im Vergleich zur Abfrage vor der Wohnphase mehr als verdoppelt. Im Extremfall hat sich eine Forderung sogar verfünffacht (P1: 5 € auf 25 € bei einer Abschaltungsdauer von 4h).

Tabelle 4: In Umfragen geäußerte WTA in Abhängigkeit von der Abschaltungsdauer

WTA	ProbandIn 1				ProbandIn 2				
	Abschaltungsdauer	1 h	2 h	4 h	1 kWh	1 h	2 h	4 h	1 kWh
Vor Wohnphase	2 €	/	5 €	5 €	0 €	/	15 €	10 €	
Woche 1	3 €	5 €	15 €	15 €	10 €	15 €	50 €	15 €	
Woche 2	5 €	10 €	20 €	20 €	10 €	15 €	40 €	10 €	
Woche 6	5 €	10 €	25 €	20 €	-	-	-	-	

Die Ergebnisse zur Einschätzung der WTP sind in Tabelle 5 dargestellt. Hierbei wurde abgefragt, welchen Betrag die ProbandInnen bereit wären zu zahlen, um eine Unterbrechung der Stromversorgung der jeweiligen Dauer zu verhindern. Hierbei lässt sich ein inverses Verhalten beobachten, auch wenn es nicht so eindeutig ist wie bei der WTA. Die Zahlungsbereitschaften sind im Verlauf des Experiments bei den meisten Bewertungen mindestens um ein Drittel gesunken. In der zweiten WTP-Woche schätzte ProbandIn 2 die beiden Unterbrechungen von einer und zwei Stunden sogar so ein, dass er/sie gar keine Zahlung leisten würde. Auffällig ist der Sprung bei ProbandIn 2 in der vierten Woche. Hier schnellten die Bewertungen deutlich in die Höhe und übertrafen jede vorherige Angabe.

Tabelle 5: In Umfragen geäußerte WTP in Abhängigkeit von der Abschaltungsdauer

WTP	ProbandIn 1				ProbandIn 2				
	Abschaltungsdauer	1 h	2 h	4 h	1 kWh	1 h	2 h	4 h	1 kWh
Vor Wohnphase	5 €	/	10 €	10 €	0 €	/	15 €	-	
Woche 4	2 €	5 €	10 €	7 €	10 €	15 €	40 €	15 €	
Woche 5	1,50 €	3 €	6 €	5 €	0 €	0 €	10 €	-	

Die Ergebnisse zeigen, dass die Kompensationsforderungen bei allen drei abgefragten Abschaltungsdauern (1 h, 2 h, 4 h) im Verlauf der Wohnphase deutlich gestiegen sind. Es stellt sich also die Frage, welche Gründe es für diesen Wandel geben könnte. Eine Überlegung ist, dass die ProbandInnen die erste Tarifauswahl als Maßstab für ihre nachfolgenden Entscheidungen nahmen. Zu diesem Zeitpunkt war der zugrundeliegende VoLL mit 20 €/kWh verhältnismäßig hoch angesetzt. In den Interviews bestätigten die beiden ProbandInnen diese Vermutung noch einmal und merkten an, dass eine niedrigere Entschädigung realistischer und trotzdem noch akzeptabel gewesen wäre. Als Reaktion wurde die Höhe der Kompensationen in der zweiten Woche halbiert. Es besteht dennoch die Möglichkeit, dass die ProbandInnen durch ihre Angaben in den Umfragen Einfluss auf die weiteren Tarife nehmen wollten, indem

sie bewusst höhere Entschädigungen verlangten. Demgegenüber steht jedoch die Tatsache, dass nach der letzten Woche von den ProbandInnen nahezu identische Werte für die verlangten Kompensationen angegeben wurden wie vier Wochen zuvor. Zu diesem späten Zeitpunkt der Wohnphase konnten keine Tarife oder Auszahlungen mehr beeinflusst werden. Darüber hinaus zeigen die individuellen Value Scales, dass sich die ProbandInnen als sehr altruistisch bewertet haben. Auch langfristige Anreize, die Ergebnisse des Experiments zu Gunsten der Verbraucher zu lenken, können aufgrund der Aussagen der ProbandInnen in den Interviews und ihrer Einstellung zum Experiment verworfen werden. Nimmt man die zuletzt angegebenen WTA-Werte beider ProbandInnen zusammen, kommt man bei den Kompensationsforderungen auf 5-10 € für eine einstündige Abschaltung, 10-15 € für eine zweistündige Abschaltung und 25-40 € für eine vierstündige Abschaltung. Wenn man nun diese Werte mit denen der Literatur vergleichen will, bietet es sich zunächst an, eine Rücktransformation in den VoLL durchzuführen. Dabei erhält man die in Tabelle 6 dargestellten Werte.

Tabelle 6: Berechneter VoLL auf Basis der Akzeptanzbereitschaft WTA

WTA	Abschaltungsdauer		
	1 h	2 h	4 h
VoLL	4,31 - 8,62 €/kWh	4,31 - 6,47 €/kWh	5,39 - 8,62 €/kWh

Der Vergleich der oben ermittelten Werte mit denen aus der Literatur zeigt, dass sich diese in einem ähnlichen Wertebereich befinden, wobei unsere Resultate im europäischen Vergleich tendenziell eher am unteren Ende einzuordnen sind. Ein möglicher Grund dafür könnte die altruistische Einstellung der ProbandInnen sein, welche sich besonders in der freiwilligen Experimentteilnahme und der Bereitschaft für die Abschaltungen gezeigt hat. Auffällig ist, dass sich das Niveau des VoLL bei der Erhöhung der Abschaltungsdauer nur marginal verändert. Ein ähnliches Ergebnis zeigen Untersuchungen von Praktijnjo, in welcher der durchschnittliche VoLL mit 22,50 €/kWh bis 23,70 €/kWh allerdings deutlich über den Ergebnissen unseres Experiments liegt [18].

Bei der Betrachtung der Zahlungsbereitschaften fällt eine andere Entwicklung auf. Anders als bei den Kompensationsforderungen lässt sich ein abnehmender Verlauf beobachten. Nach Ende der Wohnphase wurde dementsprechend ein geringerer Betrag zur Vermeidung einer Abschaltung angesetzt als vor der Wohnphase. Bei ProbandIn 1 sticht dies in allen Abschaltungsdauern heraus. Langfristig lässt sich diese Tendenz auch bei ProbandIn 2 erkennen, wobei in der vierten Woche die Zahlungsbereitschaften deutlich erhöht waren. Da sich diese Werte so deutlich von den restlichen Angaben unterscheiden, muss hinterfragt werden, ob es zu Missverständnissen wie zum Beispiel einer Verwechslung mit Kompensationszahlungen in der Umfrage gekommen sein könnte. Da die Vermeidungspreise in dieser Woche zwischen 2 und 7,50 Euro für eine Abschaltungslänge von zwei Stunden lagen und dies die erste WTP-Umfrage war, ist ein solches Szenario durchaus denkbar. Auf der anderen Seite wäre es auch möglich, dass ProbandIn 2 rückblickend diese Werte für den eigenen Privathaushalt als realistisch angesehen hat. Dies widerspricht hingegen der Tatsache, dass die nachfolgenden Abschaltungen für geringe Beträge nicht verhindert wurden und die Zahlungsbereitschaften für eine ein- und zweistündige Unterbrechung sogar auf 0 Euro in der

fünften Wochenumfrage heruntergesetzt wurden. Die sinkenden Zahlungsbereitschaften könnten sich dadurch erklären lassen, dass sich die ProbandInnen immer besser auf die Abschaltungen einstellen konnten. Insgesamt sollte dieses Ergebnis kritisch betrachtet werden, denn die Wohnphase hat gezeigt, dass es immer wieder Situationen gibt, in denen ein Verbraucher auf eine zuverlässige Stromversorgung angewiesen ist. In einem solchen Fall wären die meisten Verbraucher wahrscheinlich bereit, zumindest durch einen geringen Betrag eine Stromversorgungsunterbrechung zu verhindern. Im Zusammenhang damit wurde zusätzlich zu jeder Abschaltung (WTP-Wochen) in den zugehörigen Umfragen untersucht, welchen Betrag die ProbandInnen zur Vermeidung bereit gewesen wären zu zahlen beziehungsweise, ob eine Abschaltung auch dann verhindert worden wäre, wenn der Preis bei 0 Euro gelegen hätte. Bei den möglichen Alternativpreisen waren sich beide ProbandInnen einig, dass sie nicht bereit gewesen wären irgendeinen Betrag zu zahlen, um die Abschaltungen zu verhindern. Hätte es hingegen die kostenlose Vermeidungsoption gegeben, wäre situationsabhängig entschieden worden. In den meisten Fällen hätten die ProbandInnen diese Chance genutzt, jedoch gab es auch Zeiträume, in denen eine Abschaltung kein Problem gewesen wäre (z. B. während der regulären Arbeit im Büro). Des Weiteren lassen sich auf Basis der Zahlungsbereitschaften die entsprechenden VoLL-Werte berechnen, siehe Tabelle 7.

Tabelle 7: Berechneter VoLL auf Basis der Zahlungsbereitschaft WTP

WTP	Abschaltdauer		
	1 h	2 h	4 h
VoLL	0 - 1,29 €/kWh	0 - 1,29 €/kWh	1,29 - 2,16 €/kWh

4.4 Priorisierung der Tarifparameter

Von den vier variierten Parametern bewerten die ProbandInnen die Vorwarnzeit mit der höchsten Priorität, gefolgt von der Abschaltdauer, der finanziellen Kompensation und der Abschaltungshäufigkeit. Laut Aussage der ProbandInnen ermöglicht eine ausreichende Vorwarnzeit (mind. 24h) eine entsprechende Vorausplanung des Tagesablaufs, wodurch die Stromunterbrechung ohne Probleme überbrückt werden könne. Längere Abschaltdauern würden insbesondere Probleme bereiten, wenn im Homeoffice gearbeitet wird oder äußere Bedingungen wie z. B. das Wetter alternative Beschäftigungsmöglichkeiten im Freien einschränken. Abschaltungen von einer Stunde oder weniger wurden zu keiner Zeit als sehr störend empfunden. In Kombination mit einer ausreichenden Vorwarnzeit gaben die ProbandInnen an, dass 20 Abschaltungen pro Monat für sie akzeptabel seien. Interessant ist dabei auch, dass die Priorität der Höhe der Entschädigungszahlung im Verlauf des Experiments zugenommen hat. Der monetäre Anreiz hat somit unter Realbedingungen einen größeren Einfluss auf die Entscheidungen gehabt, als ursprünglich von den ProbandInnen angenommen.

4.5 Sorgen, Ängste und Unannehmlichkeiten

Im Vorfeld der Wohnphase wurden von den ProbandInnen einige Sorgen und Ängste in Bezug auf die Unterbrechungen der Stromversorgung ausgesprochen. Diese lassen sich grob in zwei Kategorien aufteilen: zum einen die Kategorie Arbeit und Homeoffice, hierbei äußerten die

ProbandInnen die Befürchtung, aufgrund einer Abschaltung berufliche Termine nicht wahrnehmen zu können oder nicht gesicherte Daten zu verlieren und somit berufliche Nachteile zu riskieren. Zum anderen die Kategorie Lebensmittel, hierbei bestand die Sorge hauptsächlich darin, dass Lebensmittel im Kühlschrank verderben könnten und dass es erhebliche Einschränkungen bei der Zubereitung von Lebensmitteln geben würde. Besonders die Ängste im Bereich Lebensmittel haben sich für die ProbandInnen im Verlauf des Experiments jedoch als komplett unbegründet herausgestellt und auch die befürchteten Probleme im Bereich Arbeit konnten von den ProbandInnen durch entsprechende Vorausplanung verhindert werden, vorausgesetzt sei laut deren Aussage jedoch eine ausreichend lange Vorwarnzeit von mindestens 24h.

Die größten Einschränkungen empfanden die ProbandInnen bei häuslichen Aktivitäten. Besonders im Fall von geplanten sozialen Ereignissen oder schlechtem Wetter stuften sie die Unterbrechungen als sehr störend ein.

4.6 Anpassungsmaßnahmen und Verhaltensänderungen

Mit zunehmender Anzahl an Versorgungsunterbrechungen etablierten die ProbandInnen unterschiedliche Routinen, Gewohnheiten und Alternativstrategien. In den Umfragen wurde explizit gefragt, wie sie auf die Abschaltungen reagiert hatten und welche zusätzlichen Vorbereitungen vorab getroffen worden waren. Ferner gab es vor der Wohnphase eine Abfrage darüber, wie sich die ProbandInnen vorstellen, sich in einer solchen Situation zu verhalten, um im Anschluss die erwarteten und tatsächlichen Reaktionen vergleichen zu können. Tabelle 8 fasst die wichtigsten Antworten chronologisch zusammen.

Ein Punkt, der immer wieder auftaucht, ist, dass die Abschaltungen die ProbandInnen häufig dazu zwangen, ihre geplante Arbeit im Homeoffice umzustrukturieren und alternativ ins Büro zu fahren. In der fünften Woche wurde die Benachrichtigung der bevorstehenden Abschaltung erst spät durch die ProbandInnen bemerkt, das führte zu einer deutlich kürzeren Vorwarnzeit von nur einer knappen Stunde. Dies löste während des Homeoffice großen Stress bei ProbandIn 2 aus, da er/sie sehr kurzfristig reagieren musste. Auch beim Thema Haushaltsarbeiten mussten die ProbandInnen oftmals spontan umplanen. So wurde häufig das Abschaltungsintervall dazu genutzt, um Einkäufe zu erledigen. Aktivitäten wie bspw. Kochen mussten hingegen verschoben werden. ProbandIn 1 gab sogar an, dass bestimmte Haushaltsaufgaben wie etwa das Ausräumen der Spülmaschine im Dunkeln möglich waren. Darüber hinaus gab es auch bestimmte freizeitliche Gewohnheiten während der Stromversorgungsunterbrechungen. In den meisten Fällen verbrachten die ProbandInnen mehr Zeit draußen. In den Abendstunden wurde anstatt der Nutzung von Unterhaltungselektronik gelesen oder telefoniert, hierfür wurden zusätzliche Lichtquellen wie Kerzen oder Taschenlampen genutzt. Ansonsten stellten die ProbandInnen fest, dass sie nach einer Eingewöhnungsphase sehr gut mit den Abschaltungen umgehen konnten und dadurch deutlich „entspannter“ waren. Im späteren Verlauf gaben sie daher keine neuen Verhaltensweisen in den Umfragen an.

Tabelle 8: Verhalten und Gewohnheiten der ProbandInnen im Umgang mit Abschaltungen

	ProbandIn 1	ProbandIn 2
Vor Wohnphase	<ul style="list-style-type: none"> • Kerzen anzünden • Geräte, die mit einem Akku laufen, sparsam verwenden • Kühlschrank geschlossen halten • Gegebenenfalls Fahrt aus dem Homeoffice ins Büro 	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht benötigte Geräte abschalten / verwenden • Freizeit draußen verbringen
Woche 1 (Abschaltungen von 2 h)	<ul style="list-style-type: none"> • Umlegen von notwendigen Aktivitäten wie z. B. Einkaufen auf diese Zeit • Arbeit im Büro • „Keine großen Umstellungen nötig“ 	<ul style="list-style-type: none"> • Umlegen von notwendigen Aktivitäten wie z. B. Einkaufen auf diese Zeit
Woche 2 (Abschaltungen von 4 h)	<ul style="list-style-type: none"> • Arbeit im Büro • Hausarbeiten im Dunkeln (z. B. Ausräumen der Spülmaschine) • Freizeit zunehmend draußen verbracht • Einkaufen 	<ul style="list-style-type: none"> • Arbeit im Büro • Zeitliches Verschieben von Aktivitäten wie z. B. Kochen
Woche 4 (Abschaltungen von 2 h)	<ul style="list-style-type: none"> • Entspannterer Umgang mit Abschaltungen und langer Vorwarnzeit (24 h) • Erfahrungen, (Haus-)Arbeiten auch mit weniger Licht zu erledigen • Kerzen oder kleinere Lichter werden häufiger genutzt • Arbeit im Büro 	<ul style="list-style-type: none"> • Aufgrund des schlechten Wetters gab es kaum Möglichkeiten zur Unterhaltung • Die Zeit konnte nicht so wie gewollt verbracht werden • Buch lesen und Telefonieren statt Unterhaltungselektronik • „Keine neuen Gewohnheiten“
Woche 5 (Abschaltungen von 4 h)	<ul style="list-style-type: none"> • Keine neuen Verhaltensweisen 	<ul style="list-style-type: none"> • Stress durch kurzfristige Fahrt ins Büro •
Woche 6 (Abschaltungen von 2 h)	<ul style="list-style-type: none"> • Keine neuen Verhaltensweisen 	-

4.7 Einschränkungen der Studie

Die größte Einschränkung der Studie besteht in der fehlenden Repräsentativität, da nur ein einzelner Haushalt untersucht wurde. Es sollten auf jeden Fall weiterführende Untersuchungen durchgeführt werden, die eine deutlich größere Anzahl an Haushalten und Personen mit einbeziehen. Die methodische Vorgehensweise und die Ergebnisse aus dieser Studie können dafür als Ausgangspunkt genutzt werden.

Weiterhin hat eine Vielzahl von Variablen zu situationsbedingten Entscheidungen der ProbandInnen geführt. Es ist unmöglich, alle Interdependenzen und Motivationen aufzudecken und zu analysieren, die zu den Entscheidungen geführt haben.

Ein gewisser Bias in den Entscheidungen der ProbandInnen ist ebenfalls sehr wahrscheinlich. Zum einen haben sie sich freiwillig zur Teilnahme an dem Experiment gemeldet, was eine höhere Bereitschaft mit sich ziehen könnte, die Abschaltungen zuzulassen, um so das Forschungsprojekt zu unterstützen. Im Interview gaben die ProbandInnen an, dass sie außerhalb des Experiments womöglich einige der Abschaltungen eher verhindert hätten. Zum anderen könnten die aus der Sicht der ProbandInnen zu hohen Entschädigungszahlungen in der ersten Woche zu einer positiven Reziprozität [39] geführt und somit die folgenden Entscheidungen beeinflussen haben. Hierbei könnte ebenfalls eine Rolle gespielt haben, dass die ProbandInnen gerade zu Beginn des Experiments womöglich durch die neuen Informationen in ihren Entscheidungen beeinflusst worden sind [40].

5 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Studie wurden die Zahlungs- und Akzeptanzbereitschaften im Falle von kontrollierten und gezielten Stromabschaltungen eines privaten Haushalts unter realitätsnahen Bedingungen untersucht. Im Verlauf des Experiments wurden insgesamt elf Abschaltungen durchgeführt. Dabei zeigen sich Stromunterbrechungskosten (Value of Lost Load: VoLL) in Bezug auf die Kompensationsakzeptanz (WTA) von 4,31 - 8,62 €/kWh und 0 - 2,16 €/kWh für die Zahlungsbereitschaft (WTP). Aus diesen Werten geht eine Disparität zwischen WTA und WTP hervor, welche auch schon in Umfragen in der Literatur beobachtet wurde [15, 17, 27].

Von den vier variierten Parametern bewerten die ProbandInnen die Vorwarnzeit mit der höchsten Priorität, gefolgt von der Abschaltdauer, der finanziellen Kompensation und der Abschaltungshäufigkeit. Eine ausreichende Vorwarnzeit (mind. 24h) ermögliche eine entsprechende Vorausplanung des Tagesablaufs, wodurch die Stromunterbrechung ohne größere Probleme überbrückt werden könne. Längere Abschaltdauern würden insbesondere Probleme bereiten, wenn im Homeoffice gearbeitet wird oder äußere Bedingungen wie z.B. das Wetter alternative Beschäftigungsmöglichkeiten einschränken. Abschaltungen von einer Stunde oder weniger wurden zu keiner Zeit als sehr störend empfunden. In Kombination mit einer ausreichenden Vorwarnzeit gaben die ProbandInnen an, dass 20 Abschaltungen pro Monat für sie akzeptabel seien.

Einige im Vorfeld ausgesprochene Sorgen und Ängste (Verderben von Lebensmitteln im Kühlschrank, Datenverlust, Einschränkungen beim Kochen) haben sich für die ProbandInnen im Verlauf des Experiments als unbegründet herausgestellt. Mit zunehmender Anzahl an Versorgungsunterbrechungen etablierten die ProbandInnen unterschiedliche Routinen, Gewohnheiten und Alternativstrategien.

Diese Studie gewährt einen Einblick in den Umgang zweier ProbandInnen mit kontrollierten und geplanten Stromabschaltungen unter realen Bedingungen und deren Akzeptanz- und Zahlungsbereitschaften. Der hier vorgestellte methodische Ansatz erweitert die bisherige wissenschaftliche Literatur, die auf hypothetischen oder ex post Analysen ungeplanter Blackout Studien beruht. Aufgrund der kleinen Stichprobe (zwei ProbandInnen) sollten zukünftige Studien weitere Wohnphasen mit größeren Stichproben umsetzen.

Fördervermerk: Diese Arbeit wurde im Rahmen des Programms „Energiesystemdesign“ [41] der Helmholtz-Gemeinschaft [Fördernummer: 37.12.03] durchgeführt.

Literaturverzeichnis

- [1] BMWI: *Was ist eigentlich Versorgungssicherheit?* URL <https://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2019/07/Meldung/direkt-erklaert.html>. – Aktualisierungsdatum: 2021-11-10 – Überprüfungsdatum 2021-11-10
- [2] VDE: *Störungs- und Verfügbarkeitsstatistik (2019)*. URL <https://www.vde.com/resource/blob/1900702/c8c189bda08c6cf9dc7e02e66df25d9b/erfassungsschema-a-und-b--2020--data.pdf> – Überprüfungsdatum 2022-01-24
- [3] BUNDESNETZAGENTUR: *Anlage: Berichtspflichten bei Versorgungsstörungen - Vorgaben der Bundesnetzagentur zu Berichtspflichten bei Versorgungsstörungen in Elektrizitätsnetzen gemäß § 52 EnWG (2006)*. URL https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Allgemeinverfuegungen/AnlageAllgVfg220206ld5192.pdf?__blob=publicationFile&v=4 – Überprüfungsdatum 2022-01-24
- [4] BUNDESREGIERUNG: *Verordnung über Vereinbarungen zu abschaltbaren Lasten (Verordnung zu abschaltbaren Lasten - AbLaV) (idF v. Die V tritt gem. § 20 Abs. 1 idF v. 10. 10. 2016 am 1. 10. 2016 in Kraft. Die V tritt gem. § 20 Abs. 2 Satz 1 am 1. 7. 2022 außer Kraft. Gem. § 20 Abs. 2 Satz 2 tritt § 18 am 31. 12. 2023 außer Kraft.) (2016-08-16)*. URL https://www.gesetze-im-internet.de/ablav_2016/BJNR198400016.html
- [5] BDEW: *Stromverbrauch nach Verbrauchergruppe in Deutschland in den Jahren 2020 und 2021*. URL <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/170390/umfrage/stromverbrauch-nach-sektoren-in-deutschland/>. – Aktualisierungsdatum: 2023-02-06 – Überprüfungsdatum 2023-02-06
- [6] STOFT, Steven: *Power system economics : Designing markets for electricity*. Piscataway, New Jersey, New York, Piscataway, New Jersey : IEEE Press Wiley-Interscience; IEEE Xplore, 2002
- [7] RATHA, Anubhav ; IGGLAND, Emil ; ANDERSSON, Goran: Value of Lost Load: How much is supply security worth? In: *IEEE Power and Energy Society general meeting (PES), 2013 : 21 - 25 July 2013, Vancouver, BC, Canada*. Piscataway, NJ : IEEE, 2013, S. 1–5
- [8] AJODHIA, Virendra Shailesh: *Regulating beyond price : Integrated price-quality regulation for electricity distribution networks*. Delft, Technische Universität Delft. Dissertation. 2006
- [9] BILLINTON, R. ; TOLLEFSON, G. ; WACKER, G.: *Assessment of electric service reliability worth*. London : The Institution, 1991 (Conference proceedings no. 338)
- [10] HENSHER, David A. ; SHORE, Nina ; TRAIN, Kenneth: *Willingness to pay for residential electricity supply quality and reliability*. In: *Applied Energy* 115 (2014), S. 280–292
- [11] ABRATE, Graziano ; BRUNO, Clementina ; ERBETTA, Fabrizio ; FRAQUELLI, Giovanni ; LORITE-ESPEJO, Azahara: *A choice experiment on the willingness of households to accept power outages*. In: *Utilities Policy* 43 (2016), S. 151–164

- [12] CAVES, Douglas W. ; HERRIGES, Joseph A. ; WINDLE, Robert J.: *Customer demand for service reliability in the electric power industry: a synthesis of the outage cost literature*. In: *Bulletin of Economic Research* 42 (1990), Nr. 2, S. 79–121
- [13] MITCHELL, Robert Cameron: *Using Surveys to Value Public Goods : The Contingent Valuation Method*. Hoboken : Taylor and Francis, 1989
- [14] CUMMINGS, Ronald G. ; BROOKSHIRE, David S. ; SCHULZE, William Dietrich: *Valuing environmental goods : An assessment of the contingent valuation method*. Totowa, NJ : Rowman & Allanheld, 1986
- [15] PRAKTIKNJO, Aaron (Hrsg.): *Sicherheit der Elektrizitätsversorgung : Das Spannungsfeld von Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit*. Wiesbaden : Springer Viewig, 2013 (SpringerLink)
- [16] ROSE, Adam ; OLADOSU, Gbadebo ; SALVINO, Derek: Economic Impacts of Electricity Outages in Los Angeles, Bd. 47. In: CREW, Michael A.; SPIEGEL, Menahem (Hrsg.): *Obtaining the best from regulation and competition*. Boston : Kluwer Acad. Publ, 2005 (Topics in Regulatory Economics and Policy Series, 47), S. 179–210
- [17] SCHUBERT, Daniel K. J. ; VON SELASINSKY, Alexander ; MEYER, Thomas ; SCHMIDT, Adriane ; THuß, Sebastian ; ERDMANN, Niels ; MÖST, Dominik: *Gefährden Stromausfälle die Energiewende? Einfluss auf Akzeptanz und Zahlungsbereitschaft*. In: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 63. Jg. (2013), Nr. 10
- [18] PRAKTIKNJO, Aaron J.: *Stated preferences based estimation of power interruption costs in private households: An example from Germany*. In: *Energy* 76 (2014), S. 82–90. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544214003533>
- [19] RÖPKE, Luise: *The development of renewable energies and supply security: A trade-off analysis*. In: *Energy Policy* 61 (2013), S. 1011–1021
- [20] ZACHARIADIS, Theodoros ; POULLIKKAS, Andreas: *The costs of power outages: A case study from Cyprus*. In: *Energy Policy* 51 (2012), S. 630–641
- [21] PRAKTIKNJO, Aaron J. ; HÄHNEL, Alexander ; ERDMANN, Georg: *Assessing energy supply security: Outage costs in private households*. In: *Energy Policy* 39 (2011), Nr. 12, S. 7825–7833
- [22] WOLF, André ; WENZEL, Lars: *Regional diversity in the costs of electricity outages: Results for German counties*. In: *Utilities Policy* 43 (2016), S. 195–205
- [23] NOOIJ, Michiel de ; KOOPMANS, Carl ; BIJVOET, Carlijn: *The value of supply security*. In: *Energy Economics* 29 (2007), Nr. 2, S. 277–295
- [24] NEW ZEALAND ELECTRICITY AUTHORITY: *Investigation into the Value of Lost Load in New Zealand – Report on Methodology and Key Findings*. Wellington, 2013
- [25] THAYER, Mark A.: *Contingent valuation techniques for assessing environmental impacts: Further evidence*. In: *Journal of Environmental Economics and Management* 8 (1981), Nr. 1, S. 27–44
- [26] FREEMAN, Albert Myrick: *The benefits of environmental improvement : Theory and practice*. Baltimore : Johns Hopkins Univ. Pr, 1979

- [27] TUR, Mehmet Rida: *Calculation of Value of Lost Load With a New Approach Based on Time and Its Effect on Energy Planning in Power Systems*. In: *International Journal of Renewable Energy Research* (2020), Vol.10, Nr.1
- [28] LONDON ECONOMICS: *The Value of Lost Load (VoLL) for Electricity in Great Britain*. In: *London Economics* (2013)
- [29] SCHUBERT, D. K. J. ; SELASINSKY, A. von ; MEYER, T. ; SCHMIDT, A. et al.: *Gefährden Stromausfälle die Energiewende? Einfluss auf Akzeptanz und Zahlungsbereitschaft*. In: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* (2013), Nr. 63, S. 35–39
- [30] FRONDEL, Manuel ; SOMMER, Stephan ; TOMBERG, Lukas: *WTA-WTP Disparity: The Role of Perceived Realism of the Valuation Setting* : RWI, 2019
- [31] MARTÍN-FERNÁNDEZ, Jesús ; DEL CURA-GONZÁLEZ, Ma Isabel ; GÓMEZ-GASCÓN, Tomás ; OLIVA-MORENO, Juan ; DOMÍNGUEZ-BIDAGOR, Julia ; BEAMUD-LAGOS, Milagros ; PÉREZ-RIVAS, Francisco Javier: *Differences between willingness to pay and willingness to accept for visits by a family physician: a contingent valuation study*. In: *BMC public health* 10 (2010), S. 236
- [32] GRUTTERS, Janneke P. C. ; KESSELS, Alfons G. H. ; DIRKSEN, Carmen D. ; VAN HELVOORT-POSTULART, Debby ; ANTEUNIS, Lucien J. C. ; JOORE, Manuela A.: *Willingness to accept versus willingness to pay in a discrete choice experiment*. In: *Value in health : the journal of the International Society for Pharmacoeconomics and Outcomes Research* 11 (2008), Nr. 7, S. 1110–1119
- [33] WHYNES, David K. ; SACH, Tracey H.: *WTP and WTA: do people think differently?* In: *Social science & medicine* (1982) 65 (2007), Nr. 5, S. 946–957
- [34] KAHNEMAN, Daniel ; KNETSCH, Jack L. ; THALER, Richard H.: *Experimental Tests of the Endowment Effect and the Coase Theorem*. In: *Journal of Political Economy* 98 (1990), Nr. 6, S. 1325–1348
- [35] SCHARNHORST, Leandra ; SANDMEIER, Thorben ; ARDONE, Armin ; FICHTNER, Wolf: *The Impact of Economic and Non-Economic Incentives to Induce Residential Demand Response—Findings from a Living Lab Experiment*. In: *Energies* 14 (2021), Nr. 8, S. 2036
- [36] VAN DER WERFF, Ellen ; STEG, Linda: *The psychology of participation and interest in smart energy systems: Comparing the value-belief-norm theory and the value-identity-personal norm model*. In: *Energy Research & Social Science* 22 (2016), S. 107–114
- [37] BRYMAN, Alan: *Social research methods*. 4. ed. Oxford u.a : Oxford Univ. Press, 2012
- [38] JOHNSON, Richard M. ; ORME, Bryan K.: *How Many Questions Should You Ask in Choice-Based Conjoint Studies? (RESEARCH PAPER SERIES)*. Sequim, WA : 26.01.2023. URL <https://sawtoothsoftware.com/resources/technical-papers/how-many-questions-should-you-ask-in-choice-based-conjoint-studies>
- [39] THE ASSOCIATION FOR QUALITATIVE RESEARCH: *Definition: Reciprocity bias*. URL <https://www.aqr.org.uk/glossary/reciprocity-bias>. – Aktualisierungsdatum: 2022-04-13 – Überprüfungsdatum 2022-04-13

- [40] TVERSKY, A. ; KAHNEMAN, D.: *Judgement under Uncertainty: Heuristics and Biases*. In: *Science (New York, N.Y.)* 185 (1974), Nr. 4157, S. 1124–1131
- [41] HELMHOLTZ-GEMEINSCHAFT DEUTSCHER FORSCHUNGSZENTREN: *Energiesystemdesign*.
URL
<https://www.helmholtz.de/forschung/forschungsbereiche/energie/energiesystemdesign/>.
– Aktualisierungsdatum: 2022-11-11 – Überprüfungsdatum 2022-11-11